

Augmented Reality in der Produktvalidierung: Potenziale und Grenzen in frühen Entwicklungsphasen

Jonas Reinemann, Joshua Fahl, Tobias Hirschter und Albert Albers

1 Einleitung

Globaler Wettbewerb und kürzer werdende Innovationszyklen erfordern eine immer schnellere und exaktere Reaktion auf sich ständig ändernde Kundenwünsche. Die direkte Integration von Kunden und Anwendern in den Entwicklungsprozess im Rahmen kontinuierlicher Validierungsaktivitäten gewinnt im Zuge dieser Entwicklung zunehmend an Bedeutung (Ponn & Lindemann, 2011). Die Erfassung zielgerichteten Kundenfeedbacks erfordert in der Regel die Konfrontation mit konkreten Repräsentationen des späteren Produkts. Zumal physische Prototypen hierfür in frühen Entwicklungsphasen oft nicht zur Verfügung stehen und deren Aufbau kostenintensiv ist, kommen stattdessen virtuelle Produktmodelle wie CAD-Modelle oder digitale Produktskizzen zum Einsatz. Aufgrund der starken Verkürzungen im Vergleich zum späteren Produkt sind sie jedoch unter Umständen nicht in der Lage ein realistisches Produkterlebnis zu erzeugen. Sie eignen sich damit je nach Anwendungsfall nur bedingt als Kristallisationspunkt für zielgerichtetes Kundenfeedback.

Durch die technologischen Entwicklungen im Bereich von Virtual Reality- und Augmented Reality-Anwendungen (VR und AR) besteht jedoch das Potenzial, diese Einschränkungen virtueller Produktmodelle für den Einsatz in der Produktvalidierung in frühen Entwicklungsphasen aufzuheben. Die Technologien ermöglichen dem Anwender das realitätsnahe Erleben von vollständig virtuellen (VR) oder gemischt physisch-virtuellen (AR) Umgebungen. Erreicht die virtuelle Umwelt einen hohen sogenannten Immersionsgrad (fachsprachlich für Grad des „Eintauchens“), ist der Anwender im Extremfall nicht mehr

in der Lage zwischen der realen und der virtuellen Umwelt zu unterscheiden. Besonders die AR-Technologie bietet für den Einsatz in der Produktvalidierung große Potenziale, zumal bestehende, physische Referenzprodukte mit virtuellen Modellen kombiniert werden können (Reinemann, Hirschter, Mandel, Heimicke & Albers, 2018). Dieser Beitrag präsentiert die Ergebnisse eines Forschungsvorhabens, dessen Ziel es war die Potenziale der AR-Technik für die Produktvalidierung in einer vergleichenden Probandenstudie differenziert zu untersuchen.

2 Stand der Forschung

2.1 Erweitertes ZHO-Modell der Produktentwicklung

Ropohl beschreibt in seiner Theorie der Systemtechnik die Produktentwicklung als die Überführung eines zunächst vagen Zielsystems in ein Objektsystem mittels eines Handlungssystems (Ropohl, 1975). Albers et al. ergänzen das Modell aus Ziel-, Handlungs- und Objektsystem um die grundlegenden Aktivitäten der Analyse und Synthese (Albers, Ebel & Lohmeyer, 2012). In dem so gewonnenen *erweiterten ZHO-Modell*, spezifizieren sie außerdem das Handlungssystem durch die Einführung der Wissensbasis und des Lösungsraums (vgl.

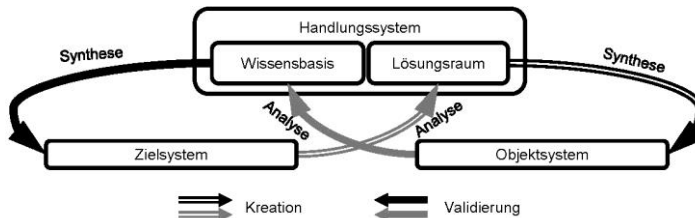


Abbildung 1).

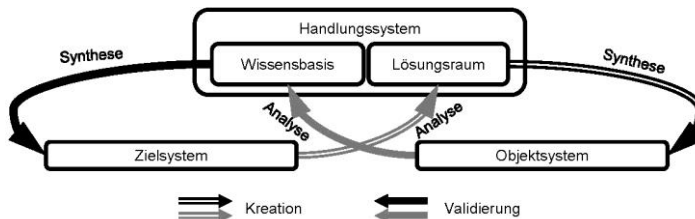


Abbildung 1: Das Erweiterte ZHO-Modell (Albers, Behrendt, Klingler & Matros, 2016)

Das erweiterte ZHO-Modell verdeutlicht den iterativen Charakter der Produktentwicklung. Demnach lässt sich die Produktentwicklung als eine sich wiederholende Folge vieler Kurations- und Validierungsschritte verstehen. Die Kuration besteht dabei aus den grundlegenden Aktivitäten der Zielanalyse und der Objektsynthese, während die Validierung als Objektanalyse und anschließende Zielsynthese verstanden werden kann (Albers et al., 2016).

2.2 Frühe und kontinuierliche Produktvalidierung

Ein Kunde kauft ein Produkt nur dann, wenn seine Eigenschaften und Funktionen einen wahrgenommenen Kundennutzen versprechen, der die wahrgenommenen Kosten übersteigt (Day, 1990). Aus diesem Grund ist es unerlässlich, die Anforderungen von Kunden und Anwendern so früh wie möglich im Rahmen der Produktentwicklung zu berücksichtigen und kontinuierlich zu validieren. Dies gilt umso mehr in einem wettbewerbsintensiven Marktumfeld, das sich in vielen Branchen in immer differenzierteren Marktsegmenten und immer individuelleren Produkten widerspiegelt (Kumar & Phrommathed, 2005).

Die Validierung ist laut Albers die zentrale wissensgenerierende Aktivität im Produktentwicklungsprozess. Im Rahmen der Validierung entsteht neues Wissen, mit dem das Zielsystem detailliert oder erweitert werden kann. Die Validierung umfasst die Bewertung des Objektsystems anhand der Anforderungen verschiedener Stakeholder sowie die Rückführung der dabei gewonnenen Erkenntnisse in das Zielsystem. Der direkten und indirekten Einbindung von Stakeholdern, insbesondere von Kunden und Anwendern, kommt daher eine wichtige Rolle bei der Produktvalidierung zu. (Albers et al., 2016)

Besondere Bedeutung wird in Literatur und Praxis einer frühzeitigen Validierung zugeschrieben (Albers et al., 2016; Cooper & Kleinschmidt, 1993; Gruner & Homburg, 1999; Helm, 2001; Porter, 2004). Dies ist auf ihre Hebelwirkung auf nachgelagerte Prozesse und den deutlich geringeren Aufwand zur Korrektur von Konzeptfehlern in frühen Entwicklungsphasen im Vergleich zu späteren Phasen zurückzuführen. So besagt die sogenannte „Rule of Ten“, dass sich die Kosten für die Behebung von Konzeptfehlern mit jeder Phase im voranschreitenden Produktentstehungsprozess verzehnfachen (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013). Während in konventionellen, sequentiellen Pro-

zessmodellen die Validierung oft als eigenständige Phase im Produktentwicklungsprozess betrachtet wird (siehe z.B. Eigner, Roubanov & Zafirov, 2014), ändert sich dies mit zunehmender Verbreitung agiler Entwicklungsansätze. Diese sehen in der Regel eine kontinuierliche, prozessbegleitende Validierung vor (Albers, Behrendt, Klingler, Reiß & Bursac, 2017; Schmidt, Chahin, Kößler & Paetzold, 2017).

2.3 Augmented Reality

Milgram et al. definieren Augmented Reality (AR) in Abgrenzung zu anderen Formen der Darstellung und Wahrnehmung entlang des sogenannten *Reality-Virtuality Continuum* (P. Milgram., Takemura H., Utsumi A. & Kishino, 1994). Demnach ist Augmented Reality eine Mischform zwischen der realen Umwelt und einer vollständig virtuellen Umwelt (Virtual Reality). Nach Burdea & Coiffet sind virtuelle Umwelten durch die drei Eigenschaften der Immersion, Interaktion und Imagination gekennzeichnet (Burdea & Coiffet, 2003). Die Immersion bezeichnet dabei die Einbindung des Anwenders in die virtuelle Umwelt. Bei der Gestaltung von VR- und AR-Umgebungen wird häufig das Ziel verfolgt, einen möglichst hohen Immersionsgrad zu erreichen, um im Extremfall dem Anwender die Möglichkeit zu nehmen zwischen der realen und virtuellen Umwelt zu unterscheiden. Der Immersionsgrad ist in der Regel umso höher, je mehr Sinnesmodalitäten (insbesondere visuell, auditiv, haptisch) in einer virtuellen Umwelt angesprochen werden. Durch die Kombination virtueller und realer Elemente lassen sich in Augmented-Reality-Umgebungen auch haptische Sinnesreize generieren und so tendenziell höhere Immersionsgrade erzielen. (Katicic, 2012; Krevelen, D. W. F. van & Poelman, 2010; Reinemann et al., 2018)

AR-Umgebungen werden im Allgemeinen mit Hilfe eines AR-Systems realisiert. AR-Systeme beinhalten ein Tracking-System, einen Szenengenerator, ein Anzeigesystem und ein Datenbanksystem (Alt, 2003; Azuma, 1997). Bei modernen AR-Systemen werden diese Subsysteme häufig in einem Gerät, dem sogenannten AR-Interface, zusammengefasst. Damgrave unterscheidet zwischen fenstergebundenen (z.B. Tablet oder Smartphone), immersiven (z.B. Head Mounted Display) und räumlichen (z.B. Projektoren) AR-Interfaces (Damgrave, 2014).

Obwohl die ersten Forschungsarbeiten zu Augmented Reality bereits auf die frühen 1980er Jahre zurückgehen, hat die stärkere Verbreitung der AR-Technik erst in den letzten Jahren mit der Verfügbarkeit kompakter und verhältnismäßig günstiger Hardwarekomponenten eingesetzt. Eine Studie des Technologiekonzerns PTC schätzt den globalen Markt für AR-Anwendungen im Jahr 2018 auf 7 Milliarden Dollar (1,3 Milliarden Dollar im Jahr 2016). Die Studie prognostiziert ein Wachstum auf bis zu 63 Milliarden Dollar bis 2021 (PTC Inc., 2017). Im *Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies 2018* hat die AR-Technologie annähernd den sogenannten Trough of Disillusionment (Trog der Desillusionierung) durchschritten und nähert sich damit der Slope of Enlightenment (Hang der Aufklärung), der letzten Stufe im *Hype Cycle*, bevor eine Technologie als Reif für einen produktiven Einsatz eingestuft wird. (Gartner Inc., 2017, 2018).

Die kommerzielle Entwicklung von AR-Interfaces für einen breiten Markt in den letzten Jahren (z.B. Microsoft® HoloLens™; aber auch moderne Smartphones und Tablets) ist eine wichtige Voraussetzung für den produktiven Einsatz der AR-Technik in der industriellen und außerindustriellen Praxis. Hierzu existieren eine Vielzahl möglicher Anwendungen in den Bereichen Architektur, Industrie, Militär, Medizin, Unterhaltung und Freizeit (Schilling, 2008). Auch erste Anwendungen der AR-Technologie im Rahmen der Produktentwicklung im Allgemeinen und der Produktvalidierung im Speziellen finden sich etwa bei Katicic, Schilling, Bordegoni et al. und Reinemann et al. (Bordegoni, Cugini, Caruso & Polistina, 2009; Katicic, 2012; Reinemann et al., 2018; Schilling, 2008).

3 Motivation

Das Potenzial der AR-Technologie für einen Einsatz im Rahmen früher Validierungsaktivitäten wurde in den letzten Jahren in der Praxis wie auch in der Wissenschaft erkannt. Die Autoren sehen im Einsatz der Augmented Reality-Technologie unter anderem einen vielversprechenden Ansatz, um verschiedene Produktvarianten frühzeitig im Entwicklungsprozess erlebbar zu machen und so aussagekräftiges Kundenfeedback zu generieren (Bordegoni et al., 2009; Katicic, 2012; Reinemann et al., 2018; Schilling, 2008). Der Einsatzbereich AR-basierter Prototypen bleibt dabei nicht auf die Validierung visueller Produkteigenschaften beschränkt. Durch die Möglichkeit zur Kombination

virtueller und physischer Inhalte können AR-basierte Prototypen auch Produkteigenschaften darstellen, deren Exploration eine physische Interaktion durch den Benutzer erfordert (Peddie, 2017; Schilling, 2008).

Eine Umfrage im Zuge dieses Forschungsvorhabens unter deutschen Industrieunternehmen mit dem Schwerpunkt Automobil- und Zulieferindustrie mit 66 Teilnehmern bestätigt die Potenziale der AR-Technologie zum Einsatz im Rahmen der Produktvalidierung (vgl. Abbildung 2). Die Umfrage hat gezeigt, dass jeweils mehr als 75 % der befragten Umfrageteilnehmer der Aussage voll und ganz oder eher zustimmen, wonach die AR-Technik eine direkte Einbindung von Kunden in die Validierungsumgebung (I), die Erfassung latenter Kundenanforderungen (II) sowie ein realistisches Produkterlebnis (III) ermöglicht. 85 % der Befragten sehen im Einsatz der AR-Technik großes Potenzial, um den Herausforderungen früher Validierungsaktivitäten effektiv zu begegnen (IV). Nur 34 % stimmen dagegen der Aussage zu, dass das Erlernen der Anwendung der AR-Technik eine aufwändige Schulung erfordern würde (VI).



Abbildung 2: Ausgewählte Ergebnisse der Fragebogenstudie zum Einsatz der AR-Technologie in der Praxis (n = 66)

Die gleiche Umfrage zeigt jedoch auch, dass der Einsatz der AR-Technologie zur Produktvalidierung in der Praxis oft nicht zielgerichtet erfolgt. Eine deutliche Mehrheit von 78 % stimmt einer entsprechenden Aussage zu (VI). Die Aussagen aus weiterführenden Interviews mit ausgewählten Umfrageteilnehmern lassen den Schluss zu, dass Produktentwicklern dabei häufig das Wissen über geeignete Anwendungsfälle der AR-Technik in der Produktvalidierung sowie über deren Grenzen nach dem heutigen Stand der Technik

fehlt. Auch Schwierigkeiten bei der Abwägung für einen Einsatz der AR-Technik gegen die Verwendung etablierter Produktmodelle, deren Erstellung mit weniger Aufwand verbunden ist, stehen in der Praxis einem zielgerichteten Einsatz von Augmented Reality entgegen. Um beide Aspekte zu adressieren, wurde im Rahmen dieses Forschungsvorhabens das Potenzial der AR-Technik für den Einsatz im Rahmen der Produktvalidierung in frühen Entwicklungsphasen experimentell untersucht und dabei zudem ein Vergleich zu zwei alternativen Produktmodellen angestellt.

4 Forschungsvorgehen

Zur Beantwortung der übergeordneten Forschungsfrage nach dem Potenzial der AR-Technik für den Einsatz im Rahmen der Produktvalidierung wurde ein Vorgehen in drei Schritten gewählt. Zunächst wurde ein geeigneter Bewertungsmaßstab zur vergleichenden Beurteilung des Potenzials AR-basierter Prototypen identifiziert. Im Zweiten Schritt wurde eine Forschungsmethode zur experimentellen Untersuchung der Forschungsfrage gewählt und ausgestaltet. Die Durchführung und Auswertung der experimentellen Untersuchung bildete schließlich den finalen Schritt des Forschungsvorgehens. Im Folgenden werden die angestellten initialen Überlegungen zum Bewertungsmaßstab und zur experimentellen Forschungsmethode dargelegt. Die Ergebnisse der Untersuchung werden im Kapitel 5 ausgeführt.

Der Wahl eines geeigneten Bewertungsmaßstabs zur vergleichenden Beurteilung des Potenzials AR-basierter Prototypen ging eine Literaturrecherche voraus. In der Literatur wird die sogenannte Wiedergabetreue (eng. Fidelity) als Kriterium für die Entscheidung über die Eignung eines Prototyps für eine bestimmte Validierungsaufgabe vorgeschlagen. Entsprechende Ansätze finden sich etwa bei Rudd et al. oder McCurdy et al. (McCurdy, Connors, Pyrzak, Kanefsky & Vera, 2006; Rudd, Stern & Isensee, 1996). Der Begriff Wiedergabetreue bezeichnet dabei die Ähnlichkeit eines Prototypen mit dem späteren Endprodukt (Klingler, 2016; Türk, Leutenecker & Meboldt, 2014). Demnach können High-Fidelity-Prototypen, die dem Endprodukt sehr nahe kommen, von Low-Fidelity-Prototypen unterschieden werden, die vom Endprodukt noch weit entfernt sind (Lim, Pangam, Periyasami & Aneja, 2006). McCurdy et al. betonen, dass sich die Wiedergabetreue eines Prototyps in der Regel nicht

auf ein einzigen Wert reduzieren lässt. Stattdessen kann seine Wiedergabetreue in einigen Aspekten höher und in anderen wiederum niedriger sein. Die Autoren bezeichnen dieses Phänomen als Mixed Fidelity (McCurdy et al., 2006). Aufbauend auf den Erkenntnissen von McCurdy et al. entwickeln Lim et al. eine Liste verschiedener Dimensionen der Wiedergabetreue eines Prototyps (Lim, Stolterman & Tenenbergh, 2008).

Die von Lim et al. identifizierten Dimensionen werden wiederum von Kohler et al. zur Entwicklung des sogenannten Filter-Fidelity-Profiles herangezogen. Darunter verstehen sie „eine grafische Darstellung der gefilterten Aspekte eines Prototypen“ (Kohler, Hochreuter, Diefenbach, Lenz & Hassenzahl, 2013), die entsteht, wenn die Ausprägungen der Wiedergabetreue eines Prototypen entlang der für den jeweiligen Anwendungsfall relevanten Dimensionen aufgetragen werden. Die Bewertung der Wiedergabetreue erfolgt dabei jeweils auf einer Skala von 1 bis 5. Ein Wert von 1 gibt an, dass der Prototyp in der betreffenden Wiedergabedimension im Vergleich zum Endprodukt nicht ausgestaltet ist. Dagegen gilt eine Dimension mit einem Wert von 5 als vollständig ausgestaltet. Darüber hinaus kann mit dem Wert 0 angezeigt werden, dass eine bestimmte Wiedergabedimension in der betreffenden Entwicklungssituation nicht anwendbar ist, weil sie etwa für die Eigenschaftsbewertung des Prototypen nicht relevant ist und daher bei dessen Ausgestaltung absichtlich nicht berücksichtigt wurde. (Kohler et al., 2013)

Zur Bewertung des Potenzials AR-basierter Prototypen im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde das Konzept der Wiedergabetreue sowie die Dimensionen für die Wiedergabetreue von Prototypen nach Lim et al. und Kohler et al. aufgegriffen. Das Filter-Fidelity-Profil nach Kohler et al. wurde dazu durch ausgewählte Dimensionen ergänzt, um den besonderen Anforderungen AR-basierter Prototypen gerecht zu werden. Die so entstandenen 22 Wiedergabedimensionen lassen sich in die fünf Kategorien Erscheinung (visuell), Erscheinung (non-visuell), Funktionalität, Interaktivität und Meta-Funktionalität unterteilen (vgl. Abbildung 3).

Als Forschungsmethode zur experimentellen Untersuchung des Potenzials der AR-Technik entlang einer Auswahl der identifizierten Wiedergabedimensionen wurde eine Probandenstudie mit 68 Teilnehmern unter Laborbedingungen gewählt. Die Teilnehmer wurden so ausgewählt, dass sie möglichst durchschnittliche Produkthanwender repräsentieren. Bei allen Teilnehmern

handelte es sich um Studenten oder wissenschaftliche Mitarbeiter am Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Die Probanden wurden im Rahmen der Studie gebeten, verschiedene Modelle desselben Produkts auszuprobieren. Als Produkt wurde ein Quadrocopter gewählt. Als Produktmodelle standen eine einfache Produktskizze, ein digitales CAD-Modell sowie ein AR-Modell zur Verfügung (vgl. Abbildung 4). CAD- und AR-Modell stammten aus einem Beispieldatensatz der Firma PTC Inc. Die Produktskizze wurde den Probanden in gedruckter Form präsentiert, während sie das CAD-Modell an einem Computerarbeitsplatz erfahren konnten. Für die Interaktion mit dem AR-Modell wurde die Microsoft® HoloLens™ eingesetzt.

Wiedergabedimensionen																					
Erscheinung (visuell)											Erscheinung (non-visuell)	Funktio-nalität	Inter-aktivität	Meta-Funktionalität							
Größe		Farbe				Form	Struktur	Lage													
Proportion	Räumliche Dimension	Lichtwirkung	Farbwirkung	Transparenz	Okklusion	Oberflächen-struktur	Formtreue	Konstruktionstiefe	Wirkbeziehungen	Räumliche Orientierung	Räumliche Positionierung	Akustik	Haptik	Funktionsumfang	Funktionstiefe	Eingabeverhalten	Ausgabeverhalten	Metainformationen	Skalierbarkeit	Varianierbarkeit	Einschneidbarkeit

Abbildung 3: Überblick über die definierten Dimensionen für die Wiedergabetreuer AR-basierter Prototypen

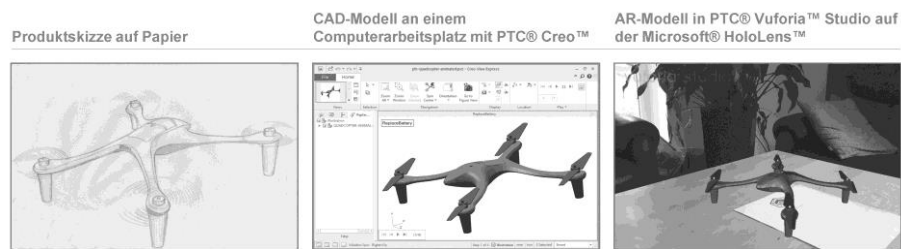


Abbildung 4: Verwendete alternative Produktmodelle eines Quadrocopters

Zu Beginn eines jeden Durchlaufs des Experiments wurde die Reihenfolge, in der die drei alternativen Produktmodelle den Probanden zur Exploration angeboten wurden, zufällig gewählt. Die Zeit für die Interaktion mit den Produktmodellen war jeweils auf 5 Minuten begrenzt. Im unmittelbaren Anschluss wurden die Probanden jeweils gebeten das Produktmodell, mit dem

sie soeben konfrontiert waren zu bewerten. Die Bewertung erfolgte entlang ausgewählter, anwendbarer Wiedergabedimensionen auf der oben beschriebenen Skala von 1 bis 5. Zusätzlich zum Fragebogen wurde den Probanden eine Erklärung der Bedeutung der einzelnen Dimensionen zur Verfügung gestellt. Neben den Fragen zur Wiedergabetreue der Prototypen wurden zudem Fragen zur Person der Probanden, ihren Vorkenntnissen zur AR-Technik und zu verschiedenen Eindrücken aus der Interaktion mit dem AR-Modell gestellt. Im folgenden Kapitel 5 werden die Ergebnisse aus der experimentellen Untersuchung in Auszügen vorgestellt und hinsichtlich ihrer Aussagekraft über das Potenzial der AR-Technik für den Einsatz im Rahmen der Produktvalidierung diskutiert.

5 Ergebnisse

Die Bewertungsergebnisse für die drei verglichenen Produktmodelle sind in Abbildung 5 dargestellt. Die Abbildung zeigt für jede untersuchte Wiedergabedimension den Median der Wiedergabetreue aus der Befragung der Studienteilnehmer. Demnach empfanden die Probanden die Wiedergabetreue des AR-Modells entlang der Mehrheit der untersuchten Dimensionen in den Bereichen *Erscheinung*, *Funktionalität* und *Interaktivität* als besser oder mindestens gleichwertig zur Wiedergabetreue der einfachen Papierskizze und des CAD-Modells. Die Wiedergabetreue der einfachen Papierskizze wurde von den Probanden erwartungsgemäß in jeder der untersuchten Dimensionen am niedrigsten bewertet.

Dieses Ergebnis lässt auf die besondere Eignung AR-basierter Prototypen zur Validierung heterogener Gebrauchsprodukte mit hohem Interaktionsanteil schließen. Besonderes Potenzial zeigt das AR-Modell in solchen Wiedergabedimensionen, die sich auf die Wechselwirkung des Modells mit seiner physischen Umgebung beziehen (vgl. *Räumliche Dimensionen*, *Räumliche Orientierung*, *Räumliche Positionierung*). Dies lässt sich darauf zurückführen, dass der Proband durch die AR-Technik in die Lage versetzt wird, das virtuelle Modell im direkten Kontext der realen Umgebung zu erfahren. Die Beurteilung der Proportionen des Modells sowie dessen Orientierung im Raum und zum Anwender selbst fällt so leichter, was in einem realistischeren Produkterlebnis in den jeweiligen Wiedergabedimensionen resultiert.

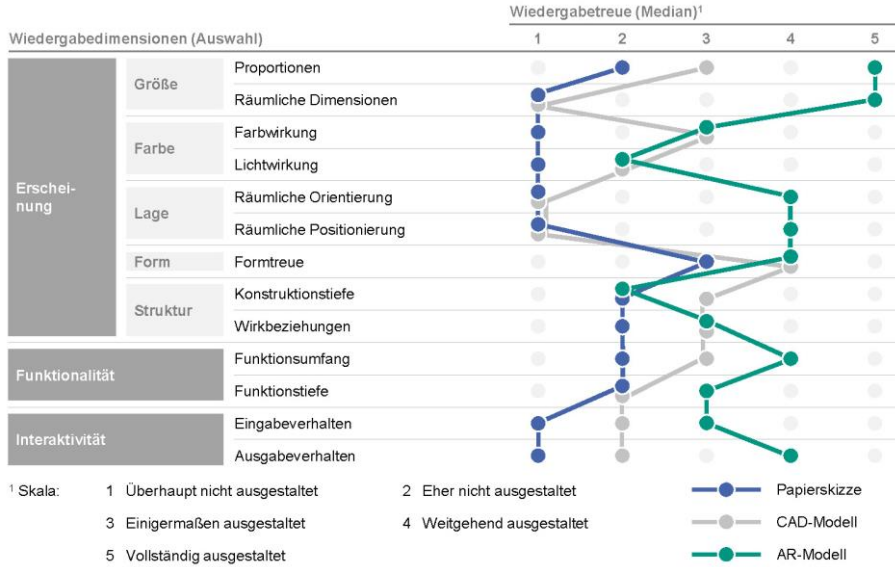


Abbildung 5: Ergebnisse aus der Bewertung der Wiedergabetreue der verglichenen Produktmodelle (n = 68)

Besonders hohe Werte in der Wiedergabetreue erzielt das AR-Modell im Vergleich zu den beiden anderen Produktmodellen zudem in den untersuchten Wiedergabedimensionen aus den Bereichen *Funktionalität* und *Interaktivität*. Insbesondere die Ausgestaltung des *Funktionsumfangs* im AR-Modell und das *Ausgabeverhalten*, d.h. die Reaktion des Modells auf Eingaben des Anwenders, wurde von den Probanden mit einer vergleichsweise hohen Wiedergabetreue bewertet. Prinzipiell ermöglichten das CAD-Modell und das AR-Modell den Probanden durch entsprechend implementierte Animationen die Exploration desselben Funktionsumfangs des Quadrocopters. Dabei handelte es sich um eine Funktion zum Batteriewechsel durch die Öffnung des Batterie-fachs sowie um das Fliegen des Quadrocopters. Analog zu den Wiedergabedimensionen aus dem Bereich *Erscheinung* lässt sich die höher bewertete Wiedergabetreue des AR-Modells in den Bereichen *Funktionalität* und *Interaktivität* darauf zurückführen, dass die Probanden die Funktion des virtuellen Modells und die Interaktion mit diesem im Kontext der realen Umgebung erfahren konnten. So erlaubte ihnen das AR-Modell den virtuellen Quadrocopter im realen Raum fliegen zu lassen, während sich die Funktion im CAD-Modell lediglich durch sich drehende Rotoren abbilden ließ. Auf der Papierskizze

konnte der Funktionsumfang wiederum mithilfe der dargestellten Bewegungsunschärfe der Rotoren lediglich angedeutet werden, was sich in der entsprechend niedrig bewerteten Wiedergabetreue im Vergleich zu CAD-Modell und AR-Modell widerspiegelt.

Keine signifikanten Vorteile des AR-Modells gegenüber dem CAD-Modell und teilweise auch der Papierskizze zeigen die Bewertungsergebnisse hingegen in den Dimensionen *Farbwirkung*, *Lichtwirkung*, *Konstruktionstiefe* und *Wirkbeziehungen*. Die Wiedergabetreue in der Dimension *Konstruktionstiefe* wurde von den Probanden für das CAD-Modell höher bewertet als für das AR-Modell. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass das AR-Modell von den Probanden eher aus Gesamtproduktsicht wahrgenommen wird, während der deutlich erkennbare Aufbau des CAD-Modells aus parametrisch modellierten Einzelbauteilen einen bewussten und unbewussten Eindruck von der Baustruktur des Quadropters bei den Probanden erzeugt. In den Dimensionen *Farb-* und *Lichtwirkung* wurde die Wiedergabetreue von AR- und CAD-Modell gleich hoch bewertet. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass in der AR-Umgebung keine umgebungssensitive Anpassung des Renderings der Modelloberflächen stattfindet. Stattdessen arbeiten die entsprechenden, für die Erzeugung der Farb- und Lichtwirkung zuständigen Shader sowohl im CAD- als auch im AR-Modell auf Basis eines virtuellen Umgebungsmodells. Ändert sich die reale Beleuchtungssituation im Raum, hat dies auch beim AR-Modell keine Auswirkungen auf das Ergebnis des Rendering-Prozesses.

Die Diskussion der Ergebnisse zeigt, dass die hohe Bewertung der Wiedergabetreue des AR-Modells im Vergleich zu den anderen beiden untersuchten Produktmodellen in vielen Dimensionen auf die Eigenschaft der AR-Technik zurückgeführt werden kann, virtuelle mit realen Modellen zu verknüpfen und so den Anwender in die Lage zu versetzen, das virtuelle Modell im realen Kontext zu erfahren. Die AR-technik ermöglicht dem Anwender damit in vielen Wiedergabedimensionen eine realistischere Produktwahrnehmung. Die Ergebnisse aus der zum Abschluss der Probandenstudie vorgenommenen Befragung der Teilnehmer zur ihren Vorkenntnissen zur AR-Technik und zu verschiedenen Eindrücken aus der Interaktion mit dem AR-Modell bestätigen dies (vgl. Abbildung 6).

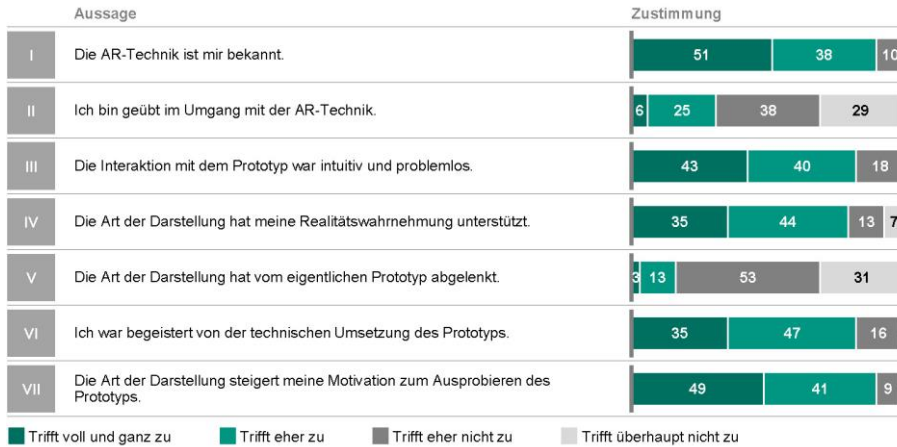


Abbildung 6: Ausgewählte Ergebnisse aus der Zusatzbefragung der Probanden zum AR-Prototypen (n = 68)

Eine Mehrheit von knapp 80 % der befragten Probanden stimmt der Aussage voll und ganz oder eher zu, wonach die Art der Darstellung des AR-Modells ihre Realitätswahrnehmung unterstützt hat (IV). Trotz dessen, dass nur etwa 30 % der Teilnehmer angeben, geübt im Umgang mit der AR-Technik zu sein (II), bewerten über 80 % die Interaktion mit dem AR-Prototypen als intuitiv und problemlos (III). Lediglich 16 % der Probanden bewerten es als zutreffend, dass die Art der Darstellung des AR-Modells sie vom eigentlichen Prototypen abgelenkt hat (V). Dennoch ist nicht auszuschließen, dass der positive Eindruck, den die Probanden der AR-Technik gegenüber zeigen, sich durch entsprechende Framing-Effekte auf ihre Bewertung des Prototypen auswirkt und dort zu einer positiven Verzerrung führt. Die Zustimmung von über 80 % der Probanden zu der Aussage, wonach sie begeistert von der technischen Umsetzung des Prototyps sind (VI), deutet auf ein solches Risiko hin.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die AR-Technologie bietet für den Einsatz in der Produktvalidierung große Potenziale. Das Ziel des in diesem Beitrag beschriebenen Forschungsvorhabens war es, diese in einer vergleichenden Probandenstudie differenziert zu untersuchen. Im Rahmen der Studie wurden die Probanden gebeten, ein AR-

Modell eines Quadrocopters sowie eine einfache Produktskizze und ein CAD-Modell des gleichen Produkts hinsichtlich ihrer Wiedergabetreue im Vergleich zum späteren Endprodukt entlang verschiedener Dimensionen zu bewerten.

Die Ergebnisse der Befragung zeigen für das AR-Modell in der Mehrheit der untersuchten Dimensionen in den Bereichen *Erscheinung*, *Funktionalität* und *Interaktivität* eine mitunter deutlich höhere Wiedergabetreue als für die zum Vergleich herangezogenen Produktmodelle. Dies gilt insbesondere für solche Wiedergabedimensionen, die sich auf die Wechselwirkung des Modells mit seiner physischen Umgebung beziehen. Die Möglichkeit mithilfe der AR-Technik virtuelle Modell im realen Kontext zu erfahren, begünstigt demnach in vielen Wiedergabedimensionen eine realistischere Produktwahrnehmung. Die Begeisterung, die eine Mehrheit der Probanden gegenüber der AR-Technik zeigte, birgt gleichzeitig die Gefahr einer Verzerrung in der Bewertung des Prototyps durch einen positiven Framing-Effekt.

Die erzielten Ergebnisse aus der durchgeführten Probandenstudie liefern einen wertvollen Beitrag zum besseren Verständnis der Potenziale und Grenzen der AR-Technik für den Einsatz in der Produktvalidierung. Sie können so helfen, die bestehenden Defizite für einen zielgerichteten Einsatz von Augmented Reality in der Praxis der Produktentwicklung zu überwinden. Um eine Nutzung der Ergebnisse in der Praxis zu erleichtern, ist zukünftig ihre Operationalisierung in Form einer unterstützenden Methode für die Konfiguration AR-basierter Validierungsumgebungen anzustreben.

Bei der Interpretation der in diesem Beitrag vorgestellten Ergebnisse ist zudem zu beachten, dass die Bewertung der Wiedergabetreue von AR-Modellen einerseits von den spezifischen Modelleigenschaften und andererseits von dem Entwicklungsstand der AR-Technik im Allgemeinen und der verwendeten AR-Hardware im Speziellen abhängig ist. Um die Generalisierbarkeit der Ergebnisse zu erhöhen, sollten zukünftig weitere Versuche an unterschiedlichen Modellen durchgeführt werden. Um zukünftigen technischen Entwicklungen im Bereich der AR-Hardware Rechnung zu tragen, sind zudem weitere empirische Daten zur Wiedergabetreue AR-basierter Prototypen einzuholen, sobald technische Fortschritte eine Verbesserung der erzielbaren Wiedergabetreue in einzelnen Dimensionen erwarten lassen.

Literaturverzeichnis

- Albers, A., Behrendt, M., Klingler, S. & Matros, K. (2016). Verifikation und Validierung im Produktentstehungsprozess. In U. Lindemann (Hrsg.), *Handbuch Produktentwicklung* (S. 541-569). München: Carl Hanser Verlag.
- Albers, A., Behrendt, M., Klingler, S., Reiß, N. & Bursac, N. (2017). Agile product engineering through continuous validation in PGE. Product Generation Engineering. *Design Science*, 3, 16.
- Albers, A., Ebel, B. & Lohmeyer, Q. (2012). Systems of objectives in complex product development. In I. Horváth (Hrsg.), *Tools and methods of competitive engineering. Proceedings of the Ninth International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering, TMCE 2012, May 7-11, 2012, Karlsruhe, Germany; digital proceedings* (S. 267-278). Delft: Faculty of Industrial Design Engineering, Delft University of Technology.
- Alt, T. (2003). *Augmented Reality in der Produktion* (Maschinenwesen). München: Utz Verlag.
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6 (4), 355-385.
- Bordegoni, M., Cugini, U., Caruso, G. & Polistina, S. (2009). Mixed prototyping for product assessment. A reference framework. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 3 (3), 177-187.
- Burdea, G. & Coiffet, P. (2003). *Virtual reality technology*.
- Cooper, R. G. & Kleinschmidt, E. J. (1993). Screening new products for potential winners. *Long Range Planning*, 26(6), 74-81. Verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/002463019390208W>
- Damgrave, R. (2014). Augmented Reality. In L. Laperrière & G. Reinhart (Hrsg.), *CIRP Encyclopedia of Production Engineering* (S. 66-67).
- Day, G. S. (1990). *Market driven strategy. Processes for creating value*. New York NY: Free Press [u.a.].
- Ehrlenspiel, K. & Meerkamm, H. (2013). *Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit* (5., überarb. und erweiterte Aufl.). München: Hanser.
- Eigner, M., Roubanov, D. & Zafirov, R. (2014). *Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung*: Springer Berlin Heidelberg.
- Gartner Inc. (2017). *Top Trends in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017*, Gartner Inc. Zugriff am 18.01.2019. Verfügbar unter <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/>
- Gartner Inc. (2018). *5 Trends Emerge in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018*, Gartner Inc. Zugriff am 18.01.2019. Verfügbar unter <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/>
- Gruner, K. E. & Homburg, C. (1999). Innovationserfolg durch Kundeneinbindung: eine empirische Untersuchung. *Innovation und Investition*, 69(1), 119-142.

- Helm, R. (2001). *Planung und Vermarktung von Innovationen. Die Präferenz von Konsumenten für verschiedene Innovationsumfänge unter Berücksichtigung des optimalen Simulationsniveaus und marktbezogener Einflussfaktoren* (Betriebswirtschaftliche Abhandlungen).
- Katicic, J. (2012). *Methodik für Erfassung und Bewertung von emotionalem Kundenfeedback für variantenreiche virtuelle Produkte in immersiver Umgebung*. Diss., Karlsruher Institut für Technologie. Karlsruhe.
- Klingler, S. (2016). *Eine Methode zur effizienten und effektiven Unterstützung der kontinuierlichen Validierung im Kontext der PGE - Produktgenerationsentwicklung*. Diss., Karlsruher Institut für Technologie. Karlsruhe.
- Kohler, K., Hochreuter, T., Diefenbach, S., Lenz, E. & Hassenzahl, M. (2013). Durch schnelles Scheitern zum Erfolg. Eine Frage des passenden Prototypen? In *Usability Professionals 2013* (S. 78-84).
- Krevelen, D. W. F. van & Poelman, R. (2010). A Survey of Augmented Reality Technologies , Applications and Limitations. *The International Journal of Virtual Reality*, 9(2), 1-20.
- Kumar, S. & Phrommathed, P. (2005). *New Product Development. An Empirical Approach to Study of the Effects of Innovation Strategy, Organization Learning and Market Conditions* (1. Aufl.). s.l.: Springer Science + Business Media.
- Lim, Y.-K., Pangam, A., Periyasami, S. & Aneja, S. (2006). Comparative analysis of high- and low-fidelity prototypes for more valid usability evaluations of mobile devices. In A. Mørch (Hrsg.), *Proceedings of the 4th Nordic conference on Human-computer interaction changing roles* (S. 291-300). New York, NY: ACM.
- Lim, Y.-K., Stolterman, E. & Tenenberg, J. (2008). The anatomy of prototypes. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 15(2), 1-27.
- McCurdy, M., Connors, C., Pyrzak, G., Kanefsky, B. & Vera, A. (2006). Breaking the fidelity barrier. In G. Olson & R. Jeffries (Hrsg.), *Proceedings of the SIGCHI conference 2006* (S. 1233). New York, New York, USA: ACM Press.
- P. Milgram., Takemura H., Utsumi A. & Kishino, F. (1994). Augmented Reality. A class of displays on the reality-virtuality continuum. In H. Das (Hrsg.), *Proceedings of Telemanipulator and Telepresence Technologies*.
- Peddie, J. (2017). *Augmented Reality. Where We Will All Live*. Cham: Springer International Publishing; Imprint: Springer. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-54502-8>
- Ponn, J. & Lindemann, U. (2011). *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltlösungen* (VDI-Buch, 2. Aufl.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20580-4>
- Porter, A. (2004). *Accelerated testing and validation. Testing, engineering, and management tools for lean development*. Amsterdam: Newnes.

- PTC Inc. (2017). *The State of Industrial Augmented Reality 2017*.
- Reinemann, J., Hirschter, T., Mandel, C., Heimicke, J. & Albers, A. (2018). Methodische Unterstützung zur Produktvalidierung in AR-Umgebungen in der Frühen Phase der PGE – Produktgenerationsentwicklung. In D. Krause, K. Paetzold & S. Wartack (Hrsg.), *Design for X. Beiträge zum 28. DfX-Symposium Oktober 2018*.
- Ropohl, G. (1975). Einleitung in die Systemtechnik. In G. Ropohl (Hrsg.), *Systemtechnik. Grundlagen und Anwendung* (S. 1-77). München: Hanser.
- Rudd, J., Stern, K. & Isensee, S. (1996). Low vs. high-fidelity prototyping debate. *interactions*, 3(1), 76-85.
- Schilling, T. (2008). *Augmented Reality in der Produktentstehung*. Diss., TU Ilmenau. Ilmenau.
- Schmidt, T. S., Chahin, A., Kößler, J. & Paetzold, K. (2017). Agile development and the constraints of physicality. A network theory-based cause-and-effect analysis. In *Proceedings of the 21st International Conference on Engineering Design*.
- Türk, D., Leutenecker, B. & Meboldt, M. (2014). Experience the relevance of testing in engineering design education. In *Proceedings of the 10th International CDIO Conference*.

Kontakt

Jonas Reinemann, M.Sc.
 Joshua Fahl, M.Sc.
 Tobias Hirschter, M.Sc.
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers
 IPEK – Institut für Produktentwicklung
 Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Kaiserstraße 10
 76131 Karlsruhe
www.ipek.kit.edu

